

## METALES PESADOS EN SUELOS DE LA PLANICIE COSTERA DEL RÍO DE LA PLATA, PARTIDOS DE ENSENADA Y BERISSO

MARCELO J MANASSERO<sup>1\*</sup>; MARIO M DA SILVA<sup>2</sup>; LAURA D BOFF<sup>3</sup> & MARTÍN A HURTADO<sup>3</sup>

Recibido: 11-03-13

Recibido con revisiones: 26-08-13

Aceptado: 07-09-13

### RESUMEN

Los datos de metales pesados determinados en diferentes horizontes de suelo de la Planicie Costera del Gran La Plata, no muestran, en términos generales, gran dispersión ni concentraciones mayores a los valores de referencia regionales aportados por otros autores. Las concentraciones máximas consideradas ecotóxicas en suelos de la región Pampeana brindan valores de 50 mg kg<sup>-1</sup> para cobre, 100 mg kg<sup>-1</sup> para plomo y 150 mg kg<sup>-1</sup> para zinc. Si consideramos los promedios para la totalidad de los horizontes superficiales y subsuperficiales estudiados, se verifican valores de Cu: 45,73 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 105,8 mg kg<sup>-1</sup> y Pb: 34,38 mg kg<sup>-1</sup>, con valores decrecientes de desviación standard de Zn-Pb-Cu de 130,81- 51,12- 24,75. Las escasas excepciones se encuentran en sectores cercanos a áreas urbanas y de intensa actividad industrial como por ejemplo en la zona de influencia del Arroyo Doña Flora de la localidad de Ensenada con valores notablemente superiores de Cu: 155 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 283 mg kg<sup>-1</sup> y Pb: 134 mg kg<sup>-1</sup>. Los suelos de la Planicie Costera presentan dos clases texturales, suelos arenosos en la Llanura Aluvional, cercanos a la línea de costa y suelos ricos en arcillas esmectíticas en la Llanura de Fango. En ambas unidades, los perfiles de suelos, no presentan variaciones verticales importantes de estos elementos. En el primer caso, este hecho se explica por la homogeneidad arenosa de sus materiales y su relativa juventud, siendo la retención de metales baja. En el segundo caso, se atribuye a los materiales arcillosos homogéneos en todo el perfil de suelo que conjuntamente con la materia orgánica generan una alta retención de metales.

**Palabras clave.** Concentraciones ecotóxicas, Plomo, Cinc y Cobre, perfiles de suelos, Planicie Costera.

### HEAVY METALS IN SOILS OF THE RIO DE LA PLATA COASTAL PLAIN, DISTRICTS OF ENSENADA AND BERISSO

#### ABSTRACT

Heavy metal records from different soil horizons within the Planicie Costera from the locality of Gran La Plata, do not show, in general terms, a great dispersion or values that are greater than the regional reference values given by other authors. The maximum concentration levels, considered ecotoxic in soils of the Pampean region, are 50 mg kg<sup>-1</sup> for Copper, 100 mg kg<sup>-1</sup> for Lead and 150 mg kg<sup>-1</sup> for Zinc. If we consider the averages for all the studied topsoils and subsoils, we find the following values: Cu: 45.73 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 105.8 mg kg<sup>-1</sup> and Pb: 34.38 mg kg<sup>-1</sup>, with decreasing values of standard deviation in the order Zn-Pb-Cu of 130.81- 51.12- 24.75, respectively. The few exceptions are located close to the urban areas with intense industrial activity, as in the area of proximity of the Doña Flora stream in the locality of Ensenada with striking high values of Cu: 155 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 283 mg kg<sup>-1</sup> and Pb: 134 mg kg<sup>-1</sup>. The soils of the Coastal Plain have two main textural types, sandy soils close to the coastal line and smectite-clayey dominant soils within the inner muddy Plain. In both cases, there is almost no vertical variation of the concentration of these elements among horizons. For the sandy soils, this observation may be explained by the sandy composition and relative young age of the soils developed close to the coast line with low metal retention. In the second case, the lack of variability is explained by the clay dominant composition of the soil substrate and the presence of organic matter that favours high metal retention.

**Key words.** Ecotoxic levels, Lead, Zinc, Copper, soil profile, Coastal Plain.

1 CIG-UNLP-CONICET: Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 1-644, (1900)-LA PLATA, ARGENTINA Phone/FAX: (54) (221)4215677

2 IGS-UNLP-CONICET: Instituto de Geomorfología y Suelos, 3-584, (1900)-LA PLATA, ARGENTINA Phone/FAX: (54) (221)4229923

3 IGS-UNLP: Instituto de Geomorfología y Suelos, 3-584, (1900)-LA PLATA, ARGENTINA Phone/FAX: (54) (221)4229923

\* Autor de contacto: manasser@cig.museo.unlp.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

Los problemas de acumulación de metales pesados en suelos, regulados por procesos geomorfológicos, físicos y químicos han sido ampliamente estudiados por varios autores en distintos países del mundo incluyendo a nuestro país (Nriaguand, 1988; Llosa *et al.*, 1990; Frink, 1996; Lavado *et al.*, 1998; Lavado, 2006; Adamo *et al.*, 2002).

Antecedentes de estudios ambientales en la región urbano industrial, cinturón productivo hortícola y florícola de Berisso, Ensenada y La Plata, área geográfica en la que se localiza el presente trabajo, han demostrado la presencia de contaminantes en aire, agua, sedimentos, suelo y biota de distintos orígenes (Catoggio, 1991; Ronco *et al.*, 2001, 2007, 2008; Dangavs *et al.*, 1997; Bilos *et al.*, 2001; Camilión *et al.*, 1998, 2003; Hurtado *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2006). Para ejemplificar un caso extremo, debemos citar a Ratto *et al.* (2004) quienes realizaron un relevamiento de contaminantes inorgánicos en suelos aluviales de la costa del Riachuelo con valores que fluctúan para estos metales entre 25-497 mg kg<sup>-1</sup> para cobre, 21-235 mg kg<sup>-1</sup> para plomo, y 12,5-47,2 mg kg<sup>-1</sup> para zinc. A excepción del Zinc, estos valores presentan una mayor dispersión que la encontrada en nuestra área de estudio, producto de la alta carga contaminante a la que se encuentra expuesto este conocido curso de agua que afecta no solo a su planicie de inundación sino a los suelos aledaños.

Camilión *et al.* (2003), estudiaron la relación existente entre el contenido de algunos metales minoritarios en los suelos de las cuencas y sedimentos de fondo de ríos y arroyos. Los datos permitieron determinar que las concentraciones de Cu, Pb y Zn, en los sedimentos de fondo de los cursos de agua analizados, se correlacionan muy bien con los niveles de esos metales en los horizontes superficiales de suelos de las cuencas. Se detectaron en ese trabajo, en algunos sectores de la Planicie Costera, suelos con aumento de concentración de los metales en relación con diversas actividades antrópicas (por ejemplo, sector bajo la influencia de un relleno sanitario y suelos aledaños a zonas de alto tránsito vehicular e industriales).

De particular interés por su relación con el presente estudio, es la distribución de metales mayoritarios y minoritarios en sedimentos de fondo de arroyos de la margen costera SE del Río de la Plata (Ronco *et al.*, 1995, 2001, 2007; Camilión *et al.*, 2003; Manassero *et al.*, 2004, 2008, 2010), que vinculan a los procesos depositacionales y de óxido-reducción en suelos vérticos dominantes en la Planicie Costera, con el aumento de las concentraciones de Fe y Mn.

La capacidad de retención de los metales depende, en gran medida, de los minerales de arcillas presentes, sus proporciones y superficies específicas, como también del contenido de materia orgánica y los óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro y manganeso (Fergusson, 1991; Macklin, 1992; Villar *et al.*, 1999; Marcovecchio & Ferrer, 2005). En los sedimentos de fondo de los arroyos de la región, la esmectita junto con la illita son los argilominerales más abundantes (Ronco *et al.*, 2001; Camilión *et al.*, 2003), estos argilominerales están presentes también en los suelos de la Llanura de Fango (Hurtado *et al.*, 2006).

Los objetivos del presente trabajo son: a) caracterizar la variabilidad de los niveles de concentración de Cu, Pb y Zn en horizontes superficiales y subsuperficiales de trece localidades de la planicie costera del Río de la Plata; b) determinar la composición y distribución vertical de dos suelos testigo de la Llanura de Fango, ubicada en la región SE del Río de la Plata de edad Holocena y la Llanura Aluvional de reciente formación y c) inferir el grado de peligrosidad ambiental brindado por el conocimiento de las posibles fuentes puntuales y difusas de contaminación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio está conformada por dos grandes unidades geomorfológicas: la Terraza Alta de Frenguelli (1950) o Zona Interior definida por Fidalgo & Martínez (1983) o Llanura Alta (Cavallotto, 1995), formada por sedimentos loésicos de origen eólico y, en ocasiones re TRABAJADOS por el agua. La otra unidad es la denominada Planicie Costera (Fidalgo & Martínez, 1983) o Llanura Costera (Cavallotto, 1995; Violante *et al.*, 2001). En el caso de la Planicie Costera o Llanura Costera se trata de depósitos fluviales y marinos que se han originado en la sedimentación inducida por las enormes descargas del Río de la Plata y por el transporte litoral, factores que interactuaron con las fluctuaciones del mar producidas después de la última glaciación. El área contiene una sucesión de formas originadas durante el ciclo transgresivo regresivo del mar, ocurrido en el Holoceno. En los sedimentos fluviales, se identifican dos unidades: Playa Actual y Llanura Aluvional. El área de origen marino se desarrolla a continuación de la Llanura Aluvional, en una faja de entre 5 y 8 km de ancho, dispuesta en forma paralela a la actual línea de costa. Se trata de una zona llana, cuyas cotas están por debajo de los 5 m snm y en un porcentaje superior al 70% de la superficie por debajo de los 2,5 m snm. En ella se identifican las siguientes subunidades: Cordones Conchiles, Cordón Litoral, Llanura de Fango, Bañado y Llanura de Marea Interior (Cavallotto, 1995). En la Planicie Costera, las bajas pendientes limitan en forma significativa el

escurrimiento superficial. Debido a ello, la red de drenaje de la mayoría de los cursos de agua que provienen del área continental pierde energía, por lo que hay canalizaciones para mejorar las condiciones de drenaje. En general, todos los suelos sufren un anegamiento superficial provocado frecuentemente por nivel freático cercano a la superficie, pudiendo aflorar en periodos de lluvias prolongados.

Según Giménez *et al.* (2005) y Hurtado *et al.* (2006) la mayoría de los suelos de la Planicie Costera con el sustrato de origen marino se clasifican dentro del Orden Vertisol (Natra-cuertes típicos y Epiacuertes sódicos (Soil Survey Staff, 2010). Los materiales originales son de granulometría muy fina con predominio de arcillas del grupo de las esmectitas. Esta propiedad genera en el suelo rasgos tales como superficies de deslizamiento ("slickensides"), agregados cuneiformes y grietas muy profundas. Esta particular mineralogía de arcillas, le otorga a los suelos una alta capacidad de intercambio catiónico de entre 30 y 40 cmolc kg<sup>-1</sup>.

Numerosos suelos del área, poseen acumulaciones elevadas de sodio intercambiable y de sales solubles. Debido a la elevada concentración de sodio intercambiable (mayor a 15 %) y alta reacción alcalina, muchos de los suelos se clasifican como "sódicos". Estas propiedades se generan por la presencia de materiales originarios marinos, la lenta permeabilidad de los suelos y la topografía deprimida (Giménez *et al.*, 2005; Hurtado *et al.*, 2006).

La salinidad se manifiesta mediante valores superiores a 4 dS m<sup>-1</sup> de la conductividad eléctrica del extracto de la pasta saturada. Las condiciones de hidromorfismo generadas por la epi y endosaturación, se visualizan mediante moteados de hierro y concreciones de hierro-manganeso para el primer caso y colores gley (verdosos, azulados o cercanos al neutro), para el segundo proceso.

En el sector costero de origen fluvial, se desarrollan la Playa Actual y la Planicie Aluvional, recientemente formadas por

la acreción de espigas arenosas depositadas por el Río de la Plata, que comprende la Isla Santiago e Isla Paulino. En ellas se generan suelos poco desarrollados, de textura gruesa, con muy baja capacidad de intercambio (menor a 10 cmolc kg<sup>-1</sup>) que fueron clasificados a nivel de Orden como Entisoles (Udipsamientos típicos y Fluvacuertes típicos).

El clima corresponde a tipo templado sin estación seca con veranos calurosos según la clasificación de Koeppen (Kottke *et al.*, 2006). La temperatura media anual corresponde a 15,5 °C, con máxima de 21,8 y mínima de 10,1. La precipitación media anual es de 910,5 mm y la humedad relativa media anual es de 81% (Hurtado *et al.*, 2006).

### Metodología de muestreo

Los sitios de muestreo de los suelos se ubican todos dentro de la Planicie Costera, como se aprecian en la Figuras 1, 2 y 3 y se detalla en la Tabla 6. Este muestreo se realizó de acuerdo a la distribución de las unidades geomorfológicas. Las muestras fueron obtenidas sobre horizontes superficiales y subsuperficiales (superficiales en los 10 cm superiores y subsuperficiales, por debajo de esta profundidad). Se caracterizaron, además, dos perfiles de suelo, descriptos en calicatas de más de un metro de profundidad, representativos de las unidades geomorfológicas marinas y fluviales, respectivamente denominadas como Llanura de Fango y Llanura Aluvional. Localizadas en zona industrial-YPF y Playa Bagliardi en la Planicie Costera.

### Métodos analíticos

Los análisis granulométricos (Black, 1965), mineralógicos (Moore & Reynolds, 1997) y químicos (USEPA, 1986; APHA, 1998), se realizaron por medio de metodologías estandarizadas sobre un total de 40 muestras. El estudio de la granulometría se llevó a cabo por medio de la técnica de sedimentación diferencial (Gee, & Bauder 1986) y el contenido de materia orgánica se determinó por oxidación química (Allison, 1965). La caracte-

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo.

Table 1. Geographical coordinates of sampling sites.

Localidad-Sitios	Latitud S	Longitud W
Gonnet-Radio Provincia	34° 50' 41"	58° 04' 38"
Gonnet-Planicie Costera	34° 51' 83"	58° 01' 21"
Villa Elisa-Punta Lara	34° 48' 14"	58° 02' 02"
Isla Santiago	34° 50' 14"	57° 54' 03"
Selva marginal-Punta Lara	34° 47' 51"	57° 59' 36"
YPF-Zona Industrial	34° 53' 47"	57° 54' 40"
Isla Paulino	34° 49' 47"	57° 52' 21"
La Balandra	34° 57' 21"	57° 44' 45"
Playa Bagliardi	34° 51' 54"	57° 49' 15"



Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo, imagen tomada del Google Earth.

Figure 1. Study area and sampling sites taken from a Google Earth image.



Figura 2. Vista de la Planicie Costera con la Isla Santiago en primer plano y detalle de suelos con horizontes superficiales arenosos, típicos de la Isla Santiago, desarrollados sobre una espiga arenosa perteneciente al Albardón Costero de formación reciente (200 años). Utilizar pala de punta como escala.

Figure 2. View of the Coastal Plain close to Santiago Island and sandy topsoils typical of the Santiago Island developed over a recent formed sandy spit (200 years). The spade may be used as a scale.



Figura 3. Vista de la Planicie Costera Holocena en la zona del Fuerte Barragán y detalle de suelos con horizontes superficiales arcillosos esmectíticos, típicos de esta unidad geomorfológica. Utilizar pala de punta como escala.

Figure 3. View of the Holocen Coastal Plain in the area of Barragan Fort and smectitic-clay topsoils from this geomorphological unit. The spade may be used as a scale.

rización mineralógica de las arcillas (muestras normales, glicoladas y calcinadas) fue estudiada por difracción de rayos X (Moore & Reynolds, 1997). La determinación de cobre, plomo, y zinc (límites de detección para Zn-Cu-Pb es 1,10-0,39-.28 ppm) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (Varian Spectra AA y llama de acetileno) previa digestión con ácido fluorídrico y nítrico en bomba Parr (Agemian & Chau, 1975). Todos los resultados fueron referidos a peso seco.

## RESULTADOS

En el ambiente marino de la Planicie Costera los análisis granulométricos ponen de manifiesto niveles de concentración de arcillas entre 35 y 70% generando texturas arcillosas y en menor proporción arcillo limosas (Fig. 4). Los contenidos de materia orgánica muestran valores que fluctúan entre 10 y 100 g kg<sup>-1</sup>, de acuerdo a las características de la subunidad geomorfológica.

Los valores de concentración de metales son muy similares tal como se puede apreciar en la Tabla 6, tanto en la distribución horizontal como vertical. Se muestran los tenores de concentración del horizonte superficial para cada sitio, comparado con el promedio de las concentraciones de los horizontes inferiores. La concentración de cobre presenta una media general de 49,9 mg kg<sup>-1</sup> y valores extremos entre 155 y 27,9 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que el zinc muestra un promedio de 112,6 mg kg<sup>-1</sup>, con concentraciones extremas de 283 y 8 mg kg<sup>-1</sup>. El plomo muestra una distribución similar a las observadas para el cobre y el zinc,

con concentraciones promedio de 38,6 mg kg<sup>-1</sup> y valores extremos de 134 y 16 mg kg<sup>-1</sup>.

Las características físico-químicas detalladas fueron estudiadas en dos perfiles de suelos testigos de la Planicie Costera representativos de las unidades geomorfológicas marinas y fluviales respectivamente, denominadas como Llanura de Fango y Llanura Aluvional.

El perfil testigo 1 que corresponde a la **Llanura de Fango** (zona industrial YPF) se ubica a los 34° 53' 40" de latitud sur y a los 57° 51' 40" de longitud oeste. El relieve es subnormal con una cobertura vegetal del 100%. El suelo es pobremente drenado, su permeabilidad muy lenta y la anegabilidad muy frecuente. La secuencia de horizontes es Oi, A, 2Bgss, 2Bgssk y 3Ck. En la Tabla 2 se resumen las características de este perfil.

Los datos analíticos que a continuación se detallan están compilados en la Tabla 3.

El pH es ácido en el horizonte A, el horizonte 2Bgss presenta un pH neutro y los horizontes más profundos (2Bgssk y 3Ck) son levemente básicos debido al contenido de carbonato de calcio.

En la mayor parte del perfil la clase textural dominante es arcillo limosa, excepto en el horizonte 3Ck donde predomina la fracción arenosa.

El porcentaje de materia orgánica en el horizonte Oi es muy elevado (740 g kg<sup>-1</sup>), mientras que en el horizonte A es de 64 g kg<sup>-1</sup> y disminuye notablemente en profundidad.

Tabla 2. Datos morfológicos. Perfil 1 (zona industrial YPF).

Table 2. Morphological data. Soil profile 1 (industrial area YPF oil refinery).

Horizonte	Profundidad	Características
Oi	4-0 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; migajosa; blando, friable, no plástico y no adhesivo; húmedo; raíces muy abundantes; límite neto y plano.
A	0-18 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arcillo limosa; bloques subangulares, medios; ligeramente duro, friable, plástico y adhesivo; moteados comunes, finos y precisos; húmedo; raíces abundantes; límite neto y suave.
Bngss	18-69 cm	Pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2) en húmedo; arcillosa; masivo; duro, firme, muy plástico y muy adhesivo; concreciones de hierro y manganeso comunes; moteados abundantes gruesos y precisos de color castaño claro (7.5 YR 4.5/6); slickensides muy abundantes; húmedo; límite claro y suave.
Bngssk	69-95+ cm	Gris oscuro (5Y 4/1) en húmedo; arcillosa; masivo; duro, firme, muy plástico y muy adhesivo; carbonatos abundantes; moteados comunes, medios y sobresalientes de hierro y manganeso, con núcleo de color negro azulado (10BG 2/1) y aureola color gris azulado (10BG 5/1); slickensides muy abundantes; mojado; límite neto y plano.
2Ck	95+ cm	Areno arcillosa; masivo; carbonatos abundantes; concreciones de hierro abundantes; mojado.

Tabla 3. Datos Analíticos Perfil 1.

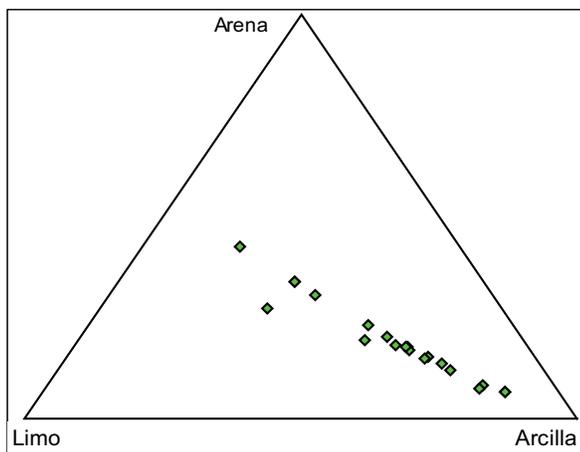
Table 3. Analytical data. Soil profile 1.

Horizonte		Oi	A	Bngss	Bngssk	2Cnk	
Profundidad (cm)		4-0	0-18	18-69	69-95	95+	
pH (pasta)		N/D	5,16	6,9	7,6	7,53	
CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		N/C	N/C	N/C	21,5	11,6	
Resistencia (pasta) (Ω cm <sup>-1</sup> )		N/D	402	113	46	61	
Conductiv. Especifica (dS m <sup>-1</sup> )		N/D	N/D	4,62	11,09	12,3	
Composición granulométrica (%)	Arcilla < 2 μm	N/D	46,96	45,20	43,56	10,92	
	Limo 2 - 50 μm	N/D	45,26	53,13	55,93	34,96	
	Arena 50 - 2000 μm	N/D	7,78	1,67	0,51	54,12	
	Subfracciones de arena	Arena Muy Fina 50 - 100 μm	N/D	6,41	1,12	0,30	51,85
		Arena Fina 100 - 250 μm	N/D	1,02	0,25	0,10	1,90
Arena Media 250 - 500 μm		N/D	0,30	0,20	0,10	0,21	
Arena Gruesa 500 - 1000 μm		N/D	0,05	0,10	N/C	0,15	
Clase Textural		N/D	Fal	Fal	Fal	FA	
C. Org. (g kg <sup>-1</sup> )		434	37	10,9	8,7	6,4	
Mat. Org. (g kg <sup>-1</sup> )		748	64	18,9	15	11	
Bases de Intercambio (cmolc kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup>	N/D	8,47	10	N/D	N/D	
	Mg <sup>2+</sup>	N/D	4	7,92	N/D	N/D	
	Na <sup>+</sup>	N/D	2,86	8,65	10,26	10,49	
	K <sup>+</sup>	N/D	1,43	1,22	3,07	0,73	
S (suma de bases) (cmolc kg <sup>-1</sup> )		N/D	16,77	27,79			
Saturación con Bases (%)		N/D	41,38		100	100	
T(CIC) (cmolc kg <sup>-1</sup> )		N/D	40,53	36,09	37,94	18,47	
Cationes solubles (mmolc L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup>	N/D	N/D	3,53	36,63	18,79	
	Mg <sup>2+</sup>	N/D	N/D	5,90	25,29	14,68	
	Na <sup>+</sup>	N/D	N/D	31,48	321,6	156,9	
	K <sup>+</sup>	N/D	N/D	0,736	1,45	1,51	
Aniones solubles (mmolc L <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	N/D	N/D	N/C	N/C	N/C	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N/D	N/D	4,82	8,4	5,72	
	Cl <sup>-</sup>	N/D	N/D	25,27	58,8	93,6	
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	N/D	N/D	15,75	34,18	33	
Metales pesados	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	52	51,3	51,9	51,5	N/D	
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	32,9	32,5	32,95	32,76	N/D	
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	142,17	72,91	87,87	59,78	N/D	

N/C (no contiene) N/D (no determinado) dld (debajo del límite de detección)

N/C (no content) N/D (no value) dld (under detection limit)

Figura 4. Granulometría de las muestras analizadas pertenecientes a las Llanuras de Fango y Aluvional.  
Figure 4. Textural class chart for the analyzed samples in the Muddy and Sandy Coastal Plain.



La conductividad eléctrica de los horizontes B resulta mayor a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , alcanzando valores de  $12 \text{ dS m}^{-1}$  en el horizonte 3Ck. El sodio es el catión soluble más abundante en los horizontes C, alcanzando valores de  $321 \text{ mmolc L}^{-1}$  en el horizonte 2Bgssk. Los aniones predominantes son cloruros y sulfatos que alcanzan valores de 93 y  $34 \text{ mmolc L}^{-1}$ , respectivamente.

La abundancia relativa de los cationes de intercambio  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  es: 9-4-2-1 en el horizonte A y 10-9-8-1 en el horizonte 2Bgssk. En los dos horizontes 2Bgssk y 3Ck el complejo de intercambio está saturado.

Respecto al contenido de los metales pesados del suelo, los valores de Pb oscilan entre 21 y  $98 \text{ mg kg}^{-1}$ , los de Cu alrededor de  $32 \text{ mg kg}^{-1}$  y los de Zn entre 60 y  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ . El suelo fue clasificado según Soil Taxonomy como un Natracuert.

En la **Llanura Aluvional** (playa Bagliardi) los análisis granulométricos marcan un elevado porcentaje de la fracción arena, variando la clasificación textural entre franco arenosa a arenosa. Los contenidos de materia orgánica son variables desde menores a 10 hasta valores que superan  $300 \text{ g kg}^{-1}$  (horizontes orgánicos).

El perfil testigo 2 se ubica a los  $34^\circ 52' 52''$  de latitud sur y a los  $57^\circ 49' 08''$  de longitud oeste, el relieve es normal a subnormal con una cobertura vegetal del 90%. Este suelo está desarrollado sobre materiales aluvionales jóvenes por lo tanto presenta un muy escaso desarrollo, su secuencia de horizontes se limita a A, 2C. A pesar de su textura gruesa presenta rasgos hidromórficos por las frecuentes crecidas del Río de La Plata. En la Tabla 4 se resumen las características de este perfil.

Los datos analíticos que a continuación se detallan están compilados en la Tabla 5. El pH del perfil es moderadamente básico, esto está relacionado con un alto contenido de carbonato de calcio equivalente, principalmente en el horizonte superficial. En todo el perfil la fracción granulométrica dominante es la arenosa, principalmente en el horizonte subsuperficial, mientras que en el horizonte superficial existe mayor participación de limo y arcilla. El contenido de materia orgánica es elevado en el horizonte superficial y disminuye notablemente en el horizonte 2C.

La conductividad eléctrica en el horizonte A es mayor a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , por lo tanto se cuantificaron cationes y aniones solubles. Se observaron altas concentraciones de sodio

Tabla 4. Datos morfológicos. Perfil 2 (Playa Bagliardi).  
Table 4. Morphological data. Soil profile 2 (Bagliardi beach).

Horizonte	Profundidad	Características
A	0-20 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arenosa; granular, fina, débil; blanda, friable, no plástico y no adhesivo; con restos de conchilla comunes muy triturados; moteados comunes, medios y precisos; húmedo; raíces abundantes; límite plano y neto.
2C	20-33 +cm	Pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en húmedo; arenosa; grano suelto; suelto, no plástico, no adhesivo; restos de conchilla escasos muy triturados; moteados comunes, gruesos y precisos; húmedo a mojado; raíces comunes.

Tabla 5. Datos analíticos. Perfil 2.  
Table 5. Analytical data. Soil profile 2.

Horizonte		A	2C	
Profundidad (cm)		0-20	20-33+	
pH (pasta)		7,73	7,56	
CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		75,79	N/C	
Resistencia (pasta) (Ω cm <sup>-1</sup> )		184,16	267,26	
Conductividad específica (dS m <sup>-1</sup> )		5,56	N/D	
Composición granulométrica (%)	Arcilla < 2 μm	10,19	0,33	
	Limo 2 - 50 μm	15,44	5,94	
	Arena 50 - 2000 μm	74,36	93,72	
	Subfracciones de arena	Arena muy fina 50 - 100 μm	29,81	33,90
		Arena fina 100 - 250 μm	43,80	59,69
		Arena media 250 - 500 μm	0,28	0,08
Arena gruesa 500 - 1000 μm		0,04	0,04	
Clase Textural		FA	A	
C. Org. (g kg <sup>-1</sup> )		13,9	2,4	
Mat. Org. (g kg <sup>-1</sup> )		24	4,2	
Bases de intercambio	Ca <sup>2+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	N/D	N/D	
	Mg <sup>2+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	N/D	N/D	
	Na <sup>+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	3,44	2,327	
	K <sup>+</sup> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,24	0,16	
S (suma de bases) (cmolc kg <sup>-1</sup> )				
Saturación con Bases (%)		100	100	
T (CIC) (cmolc kg <sup>-1</sup> )		19,68	9,23	
Cationes solubles (mmolc L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup>	13,21	N/D	
	Mg <sup>2+</sup>	8,714	N/D	
	Na <sup>+</sup>	40,04	N/D	
	K <sup>+</sup>	0,11	N/D	
Aniones solubles (mmolc L <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N/C	N/D	
	HCO <sup>-1</sup>	8,86	N/D	
	CL <sup>-1</sup>	37,19	N/D	
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	6,1	N/D	
Metales pesados	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	25	16	
	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	37,38	28,05	
	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	50,51	20,46	

N/C (no contiene) N/D (no determinado) dld (debajo del límite de detección)

N/C (no content) N/D (no value) dld (under detection limit)

soluble (40 mmolc L<sup>-1</sup>) y Ca en menor proporción (13,22 mmolc L<sup>-1</sup>). Entre los aniones se destaca una elevada concentración de cloruros (37,18 mmolc L<sup>-1</sup>).

El complejo de intercambio se encuentra saturado en los dos horizontes, debido a que ambos presentan restos de conchilla muy triturados, diseminados en la masa del suelo.

Respecto al contenido de metales pesados, los valores de Pb oscilan entre 16 y 25 mg kg<sup>-1</sup> los de Cu entre 28 y 38 mg kg<sup>-1</sup> y los de Zn entre 20 y 50 mg kg<sup>-1</sup>. El suelo fue clasificado según Soil Taxonomy como un Fluvacuent.

## DISCUSIÓN

Las características texturales de los materiales que componen los suelos de la Llanura de Fango muestran una marcada homogeneidad. Estos materiales tienen gran participación de arcillas esmectíticas, heredadas del sustrato perteneciente al depósito marino de edad Holocena, que junto a un elevado contenido de materia orgánica determinan una distribución también relativamente homogénea de los metales estudiados. En esta zona, dada su baja permeabilidad, no se ven favorecidos los procesos de movilización vertical (iluvación) característicos en otros

Tabla 6. Concentración de los metales estudiados en los sitios de muestreo de la llanura de fango y la Llanura aluvional (en mg kg<sup>-1</sup> de extracto seco) con valores reales para horizontes superiores de suelo y promedios para niveles inferiores. ND: no detectable, textura (%) y MO (g kg<sup>-1</sup>).

Table 6. Metal concentrations (mg kg<sup>-1</sup> dry sample) for the sampling sites of soils in the Coastal Plain with net values for topsoils and average given values for subsoils. ND-non detectable, texture (%) and OM (g kg<sup>-1</sup>).

			Horizonte	Cu	Zn	Pb	arena	limo	arcilla	Materia Orgánica	
<b>Llanura de fango</b>											
Gonnet-Radio Provincia	Área baja	Superficial	33,00	86,00	22,00	4,62	48,71	46,67	34,70		
		X media Inf.	48,30	107,00	18,00	3,74	32,20	64,06	Nd		
		Superficial	32,00	117,00	20,00	3,67	20,52	75,81	82,00		
		X media Inf.	43,00	125,00	13,60	1,46	23,81	74,73	65,00		
Punta Lara	Perfil a	Sup	29,00	121,00	27,00	1,93	11,62	86,45	14,60		
		Inf	39,20	97,80	17,40	3,54	15,21	81,25	8,40		
	Perfil b	Sup	29,00	118,00	23,00	23,30	49,40	27,00	9,30		
		Inf	67,00	178,50	41,00	5,30	45,00	49,70	Nd		
	Perfil c	Sup	49,00	129,00	56,00	3,10	33,30	63,60	74,10		
		Inf	36,50	166,00	32,00	4,60	25,30	70,10	72,20		
	Perfil d	Sup				73,43	19,12	7,42	37,80		
		Inf									
	Perfil e	Sup	68,00	225,00	77,00	22,66	27,05	50,29			
		Inf	41,00	166,00	59,00	9,33	12,85	77,82			
	<b>zona industrial</b>										
			Sup	49,00	129,00	56,00			63,60	74,10	
		Inf	36,50	166,00	32,00			70,10	72,20		
<b>Llanura aluvional</b>											
Dona Flora			Sup	155,00	283,00	134,00			67,50	95,50	
			Inf	54,00	220,00	56,000			nd	306,00	
Is. Paulino	1	Sup	28,62	8,35	14,21	96,58	1,42	2	6,30		
		Inf	27,92	8,30	14,21	97,35	1,66	0,99	1,60		
	2	Sup	35,95	nd	22,4	71,54	15,18	13,28	60,30		
		Inf	32,93	12,70	20,15	89,11	2,07	8,82	60,00		
	3	Superficial	32,20	8,00	16,00	88,49	11,81		12,00		
		X media Inf.	48,70	13,90	26,10	96,49	3,32	0,33	5,50		
	Playa Bagliardi	4	Sup	34,90	13,80	18,80	70,10	18,57	11,33	27,00	
			Inf	44,40	17,50	26,20	44,97	29,46	25,57	46,60	
							20,44	45,46	34,1		
		5	Sup	47,90	22,60	29,00	9,41	34,62	55,97	54,30	
	Inf		46,10		22,80	1,95	19,48	78,57	72,50		

tipos de suelos, en los que se observan mayores concentraciones de metales en los horizontes iluviales (Bt) (González Bonorino, 1966; Lavado *et al.*, 2004).

Los datos obtenidos sobre niveles de metales en los suelos de la Llanura Aluvional de reciente formación (Cavalloto, 2002) y de características texturales arenosas,

se diferencian del resto de los suelos de la Planicie Costera por concentraciones en orden de magnitud inferior. Ello señala un poder de retención menor y/o materiales fluviales más recientes, donde tampoco se observan variaciones verticales entre horizontes.

Tabla 7. Concentraciones de metales con la base de Google Earth.  
Table 7. Metal concentration used for the Google Earth.

LOCALIDAD	CU	ZN	PB
GONNET-RADIO PROVINCIA	32,00	117,00	20,00
GONNET-PLANICIE COSTERA	33,00	86,00	22,00
VILLA ELISA-PUNTA LARA	29,00	118,00	23,00
ISLA SANTIAGO	32,00	8,00	16,00
SELVA MARGINAL-PUNTA LARA	49,00	129,00	56,00
ZONA INDUSTRIAL	37,00	188,00	46,00
ARROYO DOÑA FLORA	155,00	283,00	134,00
ISLA PAULINO	28,62	8,35	14,40
LA BALANDRA	34,90	22,60	29,00
PLAYA BAGLIARDI	34,90	13,80	18,80

Cuando se tienen en cuenta los antecedentes de estudios de distribución de metales en sedimentos de cursos de agua que atraviesan la zona de estudio (Ronco *et al.*, 2001, 2003; Manassero *et al.*, 2010) se observa que los sectores con mayor aporte de metales de origen antrópico se encuentran ubicados en los sectores más cercanos a la zona continental (Llanura de Fango y Bañados) y aledaños a las zonas industriales y a basurales a cielo abierto actuales y antiguos. El sitio de muestreo cercano al arroyo Doña Flora, con mayor urbanización, actividad industrial y tránsito vehicular presenta los mayores niveles, mientras que los sitios ubicados en el albardón costero arenoso son los que presentan valores más bajos.

Los datos muestran claramente, que los sedimentos de fondo de los cursos de agua de la Llanura Aluvional se mantienen con escasa alteración antrópica y preservan sus condiciones prístinas originales. Su génesis reciente se explica como una espiga arenosa adosada a la costa y posteriormente vegetada con el desarrollo de suelos arenosos y permeables, pero que a su vez, debido precisamente a esas mismas características texturales heredadas, presentan en la actualidad un alto grado de vulnerabilidad a la actividad antrópica.

La Llanura de Fango cercana a sectores con mayor dinámica antrópica presenta en cambio, áreas con mayor tenor en la concentración de los tres metales estudiados, la predominancia de una composición arcillosa le confiere características especiales de mayor permeabilidad y una mayor retención de los mismos.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las concentraciones límite de elementos tóxicos potenciales para suelos de la Región Pampeana se concluye que las concentraciones de estos elementos en los distintos horizontes de suelos de la región costera del Gran La Plata no superan, en general, los valores críticos informados por la bibliografía. Las escasas excepciones se verifican en sectores cercanos al perímetro urbano, que se encuentran en zonas de influencia de arroyos con alta carga contaminante, como por ejemplo en el Arroyo Doña Flora. Tampoco se ha encontrado una variación importante de concentraciones de estos elementos en los distintos horizontes de suelos analizados tanto en la Llanura de Fango como en la Llanura Aluvional. Esto se explica para la primera unidad, por las características arcillosas y homogéneas del sustrato, y en la segunda, a la combinación de cuatro factores: la relativa juventud del material original, su composición arenosa, su ubicación más distante a los centros urbanos y al efecto de lavado periódico producto de las sudestadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adamo, P; M Arienzo; M Bianco; F Terribile & P Violante. 2002. Heavy metal contamination of the soils used for stocking raw materials in the former ILVA iron-steel industrial plant of Bagnoli (southern Italy). *Sci. Total Environ.* 295: 17-34.
- Agemian, H & A Chau. 1975. An atomic absorption method for the determination for 20 elements in lake sediments after acid digestion. *Analytica Chimica Acta* 80: 61-66.

- Allison, L. 1965. Organic Carbon. In: CA Black (ed.) Methods of Soils Analysis. Chemical and Microbiological Properties. Part 2. Amer. Soc. of Agronomy Inc, Publisher. 770 pp.
- APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard Methods for examination of water and wastewater. 20th Edition. American Public Health Association, Washington.
- Black, CA. 1965. Physical and mineralogical properties including statistics of measurements and sampling. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part I. American Society of Agronomy, Wisconsin. 770 pp.
- Bilos, C; J Colombo; C Skorupka & M Rodríguez Presa. 2001. Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata city area, Argentina. *Environ Poll* 111: 149-158.
- Camilión, M; M Hurtado; A Roca & M da Silva. 1998. Niveles de Cu, Pb y Zn en Molisoles, Alfisoles y Vertisoles platenses, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Compact Disk, Solo Suelo 1996. XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Software Gráfico Comércio e Serviços Ltda. Aguas de Lindoia 2: 16. Brasil.
- Camilión, C; M Manassero; M Hurtado & A Ronco. 2003. Copper, Lead and Zinc distribution in soils and sediments of the South-Western coast of the Río de la Plata estuary. Argentina. *Journal of Soils and Sediments, Scientific Journals, Ecomed Verlag, Germany*. 3(3): 213-220.
- Catoggio, JA. 1991. Contaminación del Agua. Causas de la contaminación de Aguas superficiales y subterráneas. En: Fundación Jorge E. Roulet y Fundación Nauman (eds.) Latinoamérica, Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios e Investigaciones sobre el Medio Ambiente, Buenos Aires. 352 pp.
- Cavallotto, JL. 2002. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(4): 376-388.
- Cavallotto J & R Violante. 2005. Geología y Geomorfología del Río de La Plata. En: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. 14: 237-254.
- Dangavs, N; M Camilión; J Giménez; M Hernández; M Hurtado & P Imbellone. 1997. Geología Ambiental del Partido de La Plata y alrededores. Reporte Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina.
- Eswaran, H; T Rice; R Ahrens & BA Stewart. 2002. Soil classification: a global desk reference. Boca Raton, Fla. CRC Press.
- Fergusson, J. 1991. The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press, Oxford. 614 pp.
- Fidalgo, F & O Martínez. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37: 263-279.
- Frink, CR. 1996. A Perspective on Metals in Soils. *Journal of Soil Contamination* 5: 329-359.
- Gee, GW & JW Bauder. 1986. Particle- size Analysis. In: Klute, A. (ed.), Methods of Soil Analysis, Physical and Mineralogical Method. Part 1. *Soil Sci. Soc. of Amer. Inc.* 1188 pp.
- Giménez, JE; MG Cabral; MA Hurtado; OR Martínez; CA Sánchez; MM da Silva; LM Forte; AC Crincoli & D Muntz. 2005. Elaboración y transferencia de cartografía temática e implementación de un sistema de información geográfica para el planeamiento. Partido de Berisso. Trabajo Inédito. Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Bs. As.
- González Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa Plains, Argentina. *Journal of Sedimentary Petrology* 36: 1026-1035.
- Hurtado MA; JE Giménez. & M Cabral. 2006. Análisis ambiental del partido de La Plata: Aportes al ordenamiento territorial, Consejo Federal de Inversiones, 124 pp.
- Hurtado, MA; JE Giménez; MG Cabral; MM da Silva; MC Camilión; CA Sánchez; D Muntz; LM Forte; LD Boff; D Somoza Sánchez; G Andrade; C Solero & OR Martínez. 2006. Suelos del Partido de Berazategui como base para el planeamiento ambiental y el ordenamiento territorial. Trabajo Inédito. Consejo Federal de Inversiones.
- Kottek, M.; J. Greiser; C. Beck; B. Rudolf & F. Rubel. 2006. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* 259-263.
- Lavado, R, MS Zubillaga; R Álvarez & M Taboada. 2004. Levels of potentially toxic elements in Pampa Soil. *Soil and Sediment Contamination Journal* (13)5: 329-339.
- Lavado, R. 2006. Concentration of potentially toxic elements in field crops grown near and far from cities of the Pampas (Argentina). *Journal of Environmental Management* 80: 116-119.
- Llosa, R; G Noriega; E Negro de Aguirre & E Kesten. 1990. Niveles de plomo, cadmio, zinc y cobre del área metropolitana y suburbana de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 8: 3-8.
- Macklin, M. 1992. Metal pollution of soils and sediments: a geographical perspective. In: Managing the human impact, Patterns and Processes. pp. 173-195. Malcom Newson, Belhaven Press, London.
- Manassero, M; C Camilión, & A Ronco. 2004. Análisis textural de sedimentos fluviales distales de arroyos de la Pampa Ondulada, Pcia. de Bs. As., *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 11(2): 57-69.
- Manassero, M; G Bulos Rossini; I Sayavedra; M da Silva & A Ronco. 2008. Características texturales, mineralogía de arcillas y distribución de metales en sedimentos de fondo de tributarios de la margen occidental del Paraná inferior y sur del Río de La Plata, V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata.
- Manassero, M; C Camilión & A Ronco. 2010. Análisis y vinculación de texturas, argilominerales y metales en sedimentos de fondo de la franja costera sur bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67(91): 105-111.
- Marcovecchio, J & L Ferrer. 2005. Distribution and Geochemical Partitioning of Heavy Metals in Sediments of the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research* 21(4): 826-834.
- Martínez, O; M Hurtado & J Giménez. 2006. Caracterización ambiental de los humedales costeros del Río de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geociencias* 5(1): 55-64.
- Moore, DM & R Reynolds. 1997. X-Ray Diffraction and the identification and analysis of Clay Minerals. Oxford University Press. New York. 378 pp.
- Nriagu J; J Pacyma. 1988. Quantitative assessment of world-wide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333: 134-139.
- Ratto, S; E Marceca; G Moscatelli; D Abbruzese; H Bardi; M Bossi; P Bres; G Cordón; M Di Nano; L Murrini; K Potarsky & F Williams. 2004. Evaluación de la contaminación orgánica e inorgánica en un suelo aluvial de la Costa del Riachuelo, Buenos Aires, Argentina. Asociación Argentina de Ecología. *Revista. Ecología Austral* 14: 179-190.

- Ronco, A; C Camili3n & M Manassero. 2001. Geochemistry of Heavy Metals in bottom sediments of Streams from the Rio de La Plata Estuary, Argentina. *Journal of Environmental Geochemistry and Health. Kluwer Academic Press* 23: 89-103.
- Ronco, A; C Camili3n & M Manassero. 2007. Metal occurrence and textural compositional properties in stream bottom sediment of the Pampa Ondulada Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 14: 65-87.
- Ronco, A; L Peluso; M Jurado; G Bulus Rossini & A Salibi3n. 2008. Screening of sediment pollution in tributaries from the southwestern coast of the Rio de la Plata estuary. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 15(1): 67-74.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10ª edici3n. U.S. Department of Agriculture. Washington. D.C.
- USEPA.1986. Method 3050 Acid digestion of sediments, sludges and soils, SW-846. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington DC.
- Villar, C; J Stripeikis; M Tudino; L d'Huicque; O Troccoli & C Bonetto. 1999. Trace metal concentrations in coastal marshes of the Lower Paran3 River and the Rio de la Plata Estuary. *Hydrobiologia* 397: 187-195.